Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Strahlenbiologische Untersuchungen I

Zur Frage der Röntgenreizwirkung bei Keimlingen

Von

Egon Bersa

(Mit 7 Textfiguren)

Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Graz

(Vorgelegt in der Sitzung am 2. Dezember 1926)

I. Einleitung.

Wie bekannt, ist die Frage über die Existenz einer Röntgenreizwirkung an Pflanzen sehr umstritten. Während eine Anzahl von Autoren für eine positive Reizwirkung schwacher Röntgenlichtdosen eintritt (z. B. Koernicke, H. E. Schmidt, Cattley, E. Schwarz usw.), sind andere wieder entgegengesetzter Meinung, wie Holzknecht, Schwarz, Czepa und Schindler usw. Nur einzelne nehmen eine vermittelnde Stellung ein; ein Beweis, daß die Frage noch durchaus nicht gelöst ist. Ganz abgesehen von den vielen Mängeln der Methodik, die sich besonders in älteren Arbeiten aufzeigen lassen, bekommt man aus dem Studium der einschlägigen Literatur den Eindruck, daß besonders zwei Umstände daran die Schuld tragen. Erstens merkt man, soweit die Versuche an Pflanzenmaterial von Medizinern durchgeführt sind, die mangelnde Vertrautheit mit dem Versuchsobjekt. Zweitens sind die Meßmethoden von Röntgenstrahlen noch sehr mangelhaft. Es ist daher zu begrüßen, daß in neuerer Zeit mehrere Autoren sich bemüht haben, die Schwierigkeiten zu überwinden und die Fehlerquellen aufzuzeigen, die zu den zahlreichen Widersprüchen geführt haben. Daß dies bis jetzt noch nicht vollkommen gelungen ist, liegt meines Erachtens in den großen Schwierigkeiten, die die gleichzeitige Beherrschung der physikalisch-technischen und der biologischen Seite des Problems der Röntgenstrahlenwirkung auf den Organismus macht. Es sind daher auch die vorliegenden Arbeiten auf diesem Gebiete nur mit äußerster Kritik zu verwenden und miteinander oft kaum zu vergleichen.

Wie schwierig es ist, auf Grund von Literaturangaben sich ein richtiges Bild von der Röntgenstrahlenwirkung zu machen, soll ein Vergleich zeigen, auf den meines Wissens noch nicht hingewiesen wurde.

Jüngling bezeichnet bekanntlich als Bohnenvolldosis (BVD) jene Dosis, welche bei Bestrahlung von *Vicia-faba*-Keimlingen,

deren Keimwurzel etwa 10 bis 15 *mm* Länge erreicht hat, »den völligen Stillstand des Wachstums mit Aufhörung der Seitenwurzelbildung« (1924, p. 17) hervorbringt. Diese Dosis ist eine verhältnismäßig sehr konstante Größe, die auch bei verschiedenen Rassen nicht wesentlich schwankt (was sowohl Petry [1923], als auch meine Versuche bestätigen). Vergleichen wir nun die BVD mit der Hauterythemdosis (HED), so kommen wir zu folgenden merkwürdigen Ergebnissen: Nach Jüngling entspricht eine HED zirka $2^1/_2$ BVD (p. 18). Er sagt zwar: »Da die Festlegung der BVD und die Festlegung der HED erst recht eine gewisse subjektive Breite haben, so ist natürlich diese Zahlenangabe mit einem gewissen Vorbehalt aufzunehmen.« Ich meinerseits glaube aber, daß die BVD keine so schwankende und dem subjektiven Ermessen unterliegende Erscheinung ist, wie die HED. Denn während letztere von der Empfindlichkeit des Individuums, von der dazu verwendeten Hautstelle und schließlich im wesentlichen von der Beurteilung des Beobachters abhängt, kann ich die von der BVD hervorgerufenen charakteristischen Erscheinungen leicht im Bilde festhalten und gegebenenfalls mit ähnlichen Versuchen an einem anderen Orte vergleichen. Nachdem schon Dosisunterschiede von etwa 10% Verschiedenheiten bedingen (Martius, I., 1924), die deutlich in Erscheinung treten, so wird man keinen so großen Fehler begehen, wie etwa bei der HED. Daß dies wirklich so ist, kann man leicht zeigen.

Die Bilder von Jüngling und Martius (I.), die die Wirkung der BVD in sehr charakteristischer Weise wiedergeben, verglich ich mit den entsprechenden Bildern oder Beschreibungen der anderen Autoren. Iven (1925) gibt an, daß mit einer HED »eine Stufe der Hemmung erreicht war, die nicht mehr überschritten wurde« (p. 431). Nach den Jüngling'schen Bildern und meinen Erfahrungen entspricht dies ungefähr der Wirkung der BVD. Koernicke (1923) gibt auf p. 168 ein Bild wieder, auf welchem Keimlinge mit 10 X (= 1 HED) bestrahlt, maximal geschädigt erscheinen. Anderseits zeigen wieder seine Kulturversuche (Fig. 3, 4, 5 und 7), daß die mit 10 X bestrahlten Pflanzen nicht zugrunde gegangen sind, ja teilweise über die halbe Höhe der Kontrollen erreicht haben. Wir müssen also annehmen, daß im ersten Falle die HED = oder > als 1 BVD, im zweitem Falle die HED < als 1 BVD war. So weit ich beurteilen kann, decken sich meine Erfahrungen mit denjenigen von Iven: Ich konnte die HED allerdings nicht an der Haut bestimmen, aber bei den von mir verwendeten weichen Strahlen (ohne Filter) entsprach die BVD zirka 5 H = 1 HED.

Den Schlußstein zu diesem Vergleich legte Martius (II., 1925) durch den quantimetrischen Vergleich der an verschiedenen Orten in Deutschland verwendeten HED, wobei sich das niederschmetternde Ergebnis zeigte, daß Unterschiede bis zu 300% vorhanden waren.

Es ist also nicht verwunderlich, daß bei solchen Diskrepanzen in den Meßresultaten die Versuchsergebnisse der Autoren so weit auseinander gehen.

Literatur.

Meine Versuche wurden nur an Keimlingen von *Vicia faba* (Pferdebohne) und *Sinapis alba* (weißer Senf) durchgeführt.

Mit Rücksicht darauf, daß die älteren Untersuchungen auf diesem Gebiet einer strengen Kritik nicht standhalten, und diese in neuester Zeit mehrfach von berufener Seite (Koernicke, Iven, Czepa)[1] kritisch beleuchtet wurden, kann ich mich darauf beschränken nur insoweit darauf einzugehen, als es meine Zwecke erfordern.

Schwarz, Czepa und Schindler haben (1923) zum ersten Male darauf hingewiesen, daß die Variabilität des Versuchsmaterials der Erzielung zuverlässiger Mittelwerte große Hindernisse in den Weg legt. Von dieser Erkentnis ausgehend, haben sie auch ihre Versuche in großem Stil angelegt und äußerst zeitraubende Messungen und Berechnungen vorgenommen. Leider geben sie nur in der üblichen Weise berechnete Mittelwerte an, d. h. die Berechnung wurde so vorgenommen, daß die Summe aller gemessenen Werte einer Wurzelgruppe durch die Anzahl der Wurzeln dividiert wurde. Zweierlei blieb aber dabei unberücksichtigt. Erstens handelt es sich dabei nicht um »ganze«, sondern um »Klassenvarianten«, d. h. die gemessene Länge einer Wurzel entspricht nicht der angegebenen Zahl, sondern sie liegt je nach der Art der Messung über oder unterhalb derselben. Zweitens gehört zur Beurteilung eines Mittelwertes immer die Berechnung des »mittleren Fehlers« desselben und damit auch der »Standardabweichung« (oder des Variationskoeffizienten).[2]

Erst auf Grund dieser Berechnungen ist es möglich, über einen Mittelwert etwas auszusagen; und da zeigt sich, daß Schwarz, Czepa und Schindler mit so variablem Material gearbeitet haben, daß sie noch viel mehr Keimlinge hätten verwenden müssen, um zuverlässige Zahlen zu bekommen. Allerdings bezieht sich dieses Urteil bloß auf die eine große Tabelle, p. 670 und 671; für die anderen Versuche sind nur einzelne Resultate und Mittelwerte angegeben. Doch finden wir auch bei diesen so große Schwankungen in den Werten, daß man mit gutem Recht dasselbe vermuten kann. Ich kann das an einigen Zahlen aus der Arbeit von Schwarz, Czepa und Schindler belegen.

---

1 Weitere Literatur ist hier nachzusehen.

2 Es würde zu weit führen, die Bedeutung und Anwendung dieser Ausdrück und Methoden, die der Variationsstatistik entnommen sind, hier zu erklären. Dieselben sind schon 1901 von Johannsen in die deutsche Literatur eingeführt worden, finden aber noch viel zu wenig Berücksichtigung bei einschlägigen Untersuchungen (siehe Johannsen, Elemente der exakten Erblichkeitslehre, Verlag Fischer, Jena, III. Aufl., 1926).

Sehen wir die Tabelle zu Versuch 1 auf p. 670 durch, so müssen wir feststellen, daß selbst unter den Kontrollen nur wenige Mittelwerte (aus je 20 Keimlingen) miteinander übereinstimmen. Z. B. stimmen Kontrolle 1 und 2 in der dritten Messung gut überein (109·9, 109·8), weichen aber von den übrigen stark ab. Kontrolle 6 und 7 stimmen in allen Messungen recht gut überein, ebenso 8 und 9, weichen aber von den anderen Gruppen sehr beträchtlich ab. Vorausgesetzt, daß sämtliche Kontrollen unter völlig gleichen Verhältnissen gehalten wurden, woran nicht zu zweifeln ist, zeigen die Zahlen in handgreiflicher Weise, wie veränderlich das Wachstum ein und derselben Pflanze sein kann. Diese Zahlen zeigen aber auch noch etwas anderes. Entweder man muß so viel Material verwenden, daß die große Variabilität konpensiert wird (wobei aus praktischen Gründen jedem Versuch gewisse Grenzen gezogen sind), oder das verwendete Material eignet sich für solche (statistische) Versuche überhaupt nicht. Im vorliegenden Fall müßte die Zahl der Wurzeln in jeder Kontrollgruppe so weit vermehrt werden, daß die Mittelwerte höchstens um das Dreifache des mittleren Fehlers voneinander abweichen. Damit wäre die Gewähr gegeben, daß auch in den gleich stark bestrahlten Gruppen die Variabilität entsprechend ausgeschaltet ist.

Ist der Unterschied dennoch ein größerer, so müssen die Wurzeln ganz bestimmten Einflüssen ausgesetzt worden sein, die etwa in einer fehlerhaften Versuchsmethodik gelegen sein können. Nach dem, was Schwarz, Czepa und Schindler darüber berichten, ist die Annahme des letzteren Umstandes innerhalb einer Versuchsreihe nicht wahrscheinlich.

Es ist klar, daß in einem solchen Fall nur stärkere Wirkungen offenbar werden können, während eine eventuelle, schwache Förderung ganz gut innerhalb der Variationsbreite liegen kann. Darauf ist es jedenfalls auch zurückzuführen, daß in Versuch 3 (p. 674) die Schädigung erst bei 6 Minuten Bestrahlung sichtbar wird, während bei dem anscheinend ebenso durchgeführten Versuch 5 (p. 675) dieselbe erst bei 12 Minuten eintritt.

Aus dem Gesagten können wir also entnehmen, daß die Versuche weder für noch wider eine Reizwirkung sprechen.

Es liegt mir ferne, die Arbeit von Schwarz, Czepa und Schindler irgendwie herabzusetzen; es ist unleugbar ein Verdienst der Autoren, daß sie auf diesem Gebiet zum ersten Male und mit Nachdruck auf die vielen Fehlerquellen hinwiesen, die in der großen Variabilität der pflanzlichen Versuchsobjekte liegen. Doch wollte ich an der Hand einer scheinbar einwandfreien Untersuchung zeigen, wie vorsichtig man in der Beurteilung und Verarbeitung der Versuchsresultate sein muß.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei der Arbeit von Iven. Während bei Schwarz, Czepa und Schindler die starke Varia-

bilität des Materiales offenkundig war, ist aus den Angaben von Iven über diesen Punkt leider sehr wenig zu entnehmen. Er operierte (p. 428) mit größeren Gruppen von Objekten und bringt durchwegs eindeutige Resultate, so daß man sich gezwungen fühlt, an eine Förderung zu glauben. Freilich kann man seinen tabellarischen Zusammenstellungen der Resultate nicht entnehmen, welche Variabilität sein Material aufwies und inwiefern sich die Mittelwerte der einzelnen Gruppen sicher voneinander unterscheiden lassen.

Solche Überlegungen und die in neuester Zeit von Linsbauer vertretene Ansicht, daß solche vorübergehende Förderungen (daß es sich nur um solche handelt, scheint nunmehr festzustehen) auf eine durch die Bestrahlung hervorgerufene Korrelationsstörung zurückzuführen seien, bewogen mich, solche Untersuchungen neuerdings in Angriff zu nehmen. Es war mir sehr bald klar, daß es nur durch Versuche im allergrößten Maßstabe möglich wäre, zu sicheren Ergebnissen auf diesem Gebiete zu gelangen. Daß die Ergebnisse nicht ganz den Erwartungen entsprechen, liegt hauptsächlich daran, daß ein einzelner kaum imstande ist, das zu jedem Versuche notwendige Riesenmaterial zu bewältigen (je 300 bis 600 Keimlinge und etwa 2000 bis 4000 Messungen zu jedem Versuch) und die dazugehörigen Mittelwerte, Variationskoeffizienten etc. zu berechnen. Nur wer sich selbst mit solchen variationsstatistischen Messungen beschäftigt hat, weiß wie zeitraubend solche Berechnungen sind. Ich bin daher meiner Frau zu großem Dank verpflichtet, die sich, besonders bei den Messungen, in aufopfernder Weise zur Verfügung stellte. Gleichzeitig fühle ich mich gedrängt, Herrn Prof. Linsbauer für die zahlreichen Anregungen und das lebhafte Interesse, das er meinen Versuchen entgegenbrachte, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

III. Methodik.

Zur Durchführung der Bestrahlungen stand mir eine einfache Apparatur im hiesigen pflanzenphysiologischen Institute zur Verfügung. Dieselbe war folgendermaßen zusammengesetzt.[1]

Einem Funkeninduktor älterer Konstruktion (Reiniger, Gebbert und Schall) wird über einen Gasmotorunterbrecher der hiesige Straßenstrom (150 Volt Gleichstrom) zugeführt. Eine Schalttafel mit Kurbelrheostaten gestattet die grobe und ein Schiebewiderstand die feine Regulierung des Stromes. Dasselbe ist auch für den Motor des Unterbrechers vorgesehen. Ein Frequenzmesser gestattet die sichere Kontrolle des Unterbrechers, da das hiesige Lichtnetz stark überlastet ist und die Spannung besonders in den Abendstunden starken Schwankungen ausgesetzt ist. Der sekundäre, hochgespannte Strom wird einerseits über eine Ventilröhre (System Koch-Sterzel, Geschenk der Firma Müller, Hamburg) der Antikathode

---

[1] Orientierende Angaben über die Apparatur, die das Institut vorwiegend einer Spende von Prof. G. Holzknecht (Wien) und Geschenken der Firmen H. F. C. Müller (Hamburg) und C. Reiner (Wien) verdankt, finden sich bei Linsbauer (1926).

zugeführt; der andere Pol des Funkeninduktors ist direkt mit einer Akkumulatorenbatterie verbunden, die den Heizstrom für die Elektronenröhre (Metro von Müller, Hamburg) liefert. Der Heizstrom wird mit der Hand reguliert. Zwei Meßinstrumente zeigen Spannung und Stromstärke desselben an. Ein in den Hochspannungskreis eingeschaltetes Milliampèremeter gestattet ferner die Stärke des Elektronenstroms festzustellen und durch entsprechende Änderung der Röhrenheizung innerhalb bestimmter Grenzen zu variieren.

Die Strahlenmessung wurde anfangs mittels Holzknecht-Dosimeter durchgeführt. Später ging ich zu einem nach eigenen Angaben gebauten Ionometer über, das wesentlich zuverlässigere Intensitätsmessungen zuließ. Auch die genauere Analyse der Durchdringungsfähigkeit der Strahlen geschah mit diesem Instrument.

Da die exakte Messung der an der Röhre liegenden Spannung durch elektrometrische oder spektralanalytische Methoden aus Mangel an den nötigen Apparaten nicht durchführbar war, sah ich mich gezwungen, die parallele Funkenstrecke

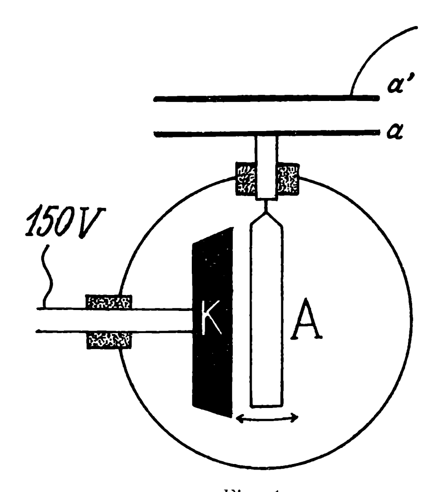


Fig. 1.
Schema des Zeleny'schen Elektroskopes.

zwischen Spitze und (großer) Platte als Anhaltspunkt dafür zu nehmen. Ich ging dabei in der Regel so vor, daß ich die Funkenstrecke auf eine bestimmte, genau gemessene Länge einstellte, den Apparat in Gang setzte und so regulierte, daß bei einer bestimmten Röhrenbelastung (abzulesen am Milliampèremeter) etwa 5 bis 10 Funken in der Minute übergingen. Es ließen sich auf diese Weise auch kleine Schwankungen der sekundären Spannung sofort durch das Gehör wahrnehmen und durch einen entsprechenden Handgriff regulieren.

Das von mir benutzte Ionometer besteht im wesentlichen aus zwei Teilen: Der Ionisationskammer und dem Elektroskop.[1] Als Ionisationskammer verwendete ich eine Hornkammer, nach den gleichen Prinzipien gebaut wie sie von Krönig und Friedrich (1916) beschrieben wurde. Als Elektroskop verwendete ich das vor kurzen von Hess beschriebene Zeleny-Elektroskop. Da dieses

[1] Für die zahlreichen Winke auf physikalischem und technischem Gebiet bin ich Herrn Prof. Dr. V. F. Hess und Dozenten Dr. Rumpf zu großem Dank verpflichtet.

kaum bekannt sein dürfte, will ich seine Wirkungsweise kurz beschreiben. Ein leichtes Aluminiumblättchen *(A)* ist so aufgehängt (Fig. 1), daß es parallel zu seiner Fläche pendeln kann (siehe den Doppelpfeil). Seiner Kante gegenübergestellt, befindet sich ein polierter Klotz aus Retortenkohle *(K)*, der durch Schieben in einer Hülse, oder noch besser durch eine Schraube, dem Blättchen nach Belieben genähert werden kann. Beide Teile sind in einem geerdeten Metallgehäuse mit Glasfenster eingebaut und besitzen sorgfältig isolierte Durchführungen. Legt man an die Kohlenplatte eine Gleichspannung (in unserem Fall die Straßennetzspannung von 150 Volt), so wird das ungeladene Blättchen angezogen, berührt die Kohle, ladet sich und das damit verbundene System auf und wird sofort

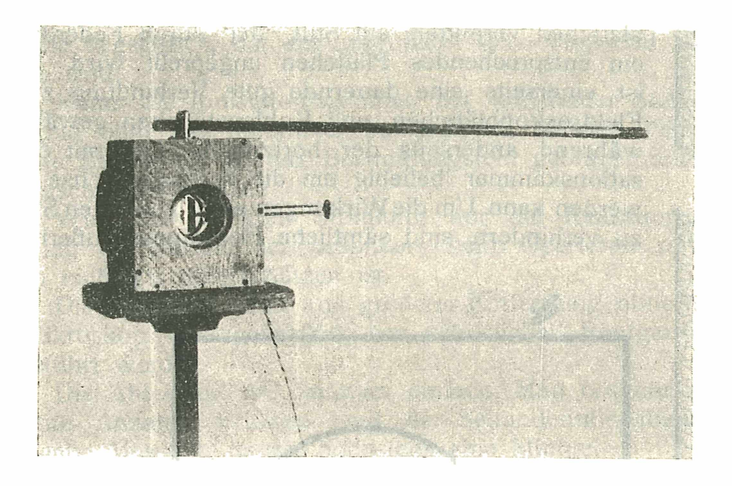


Fig. Gesamtansicht des Ionometers.

wieder abgestoßen. In diesem geladenen Zustand verharrt das Blättchen so lange, als ihm die Ladung belassen wird. Nehme ich aber dadurch Ladung weg, daß ich z. B. die Platte *a* mit dem Finger berühre, oder daß ich zwischen den Platten *a* und *a'* die Luft ionisiere und die Platte *a'* ableite, so wird sich das Blättchen mehr oder weniger schnell entladen. Infolgedessen schlägt das Blättchen wieder an die Kohle, ladet sich auf, wird wieder entladen, usw. Die Geschwindigkeit, mit der das Blättchen entladen wird, d. h. die Anzahl der »Blättchenschläge« in der Zeiteinheit, gestatten einen genauen Rückschluß auf die Geschwindigkeit der Entladung und damit auf die Stärke der Ionisation zwischen den Platten *a* und *a'*. Ersetzen wir das Plattenpaar *a*, *a'* durch die Ionisationskammer, deren eine Seite geerdet ist, so ist das Ionometer im Prinzip erklärt. Ionisationskammer und Elektroskop sind halbstarr miteinander verbunden; d. h. die Ionisationskammer ist nicht direkt und unbeweglich aufgesetzt wie beim Grebe'schen und Martius'schen »Iontometer«, und auch nicht durch eine biegsame

isolierte Leitung, wie dies etwa die gebräuchlichen Ionometer aufweisen (z. B. das von Krönig und Friedrich benutzte).

Eine Totalansicht des ganzen Apparates gibt Fig. 2, während die wesentlichen Einzelheiten seines Baues aus Fig. 3 zu entnehmen sind. Das Kohlenstäbchen der Ionisationskammer ist an einen Messingdraht festgemacht, der zentral durch ein 15 *mm* weites Messingrohr geführt ist und durch Bernsteinringe in dieser Lage festgehalten wird. Dieser horizontale Arm ist mittels eines kurzen Rohrstutzens auf dem vertikalen Rohransatz des Elektroskopes um die vertikale Achse drehbar aufgesetzt. Die Verbindung zwischen Messingdraht und Elektroskopblättchen vermittelt ein Stift, der durch Federdruck an ein entsprechendes Plättchen angepreßt wird. Dadurch ist einerseits eine dauernde gute Verbindung zwischen Elektroskopblättchen und Kohlenstäbchen gewährleistet, während anderseits der horizontale Arm mit der Ionisationskammer beliebig um die vertikale Achse gedreht werden kann. Um die Wirkungen einer gewollten Strahlung zu verhindern, sind sämtliche Hohlräume außerhalb des

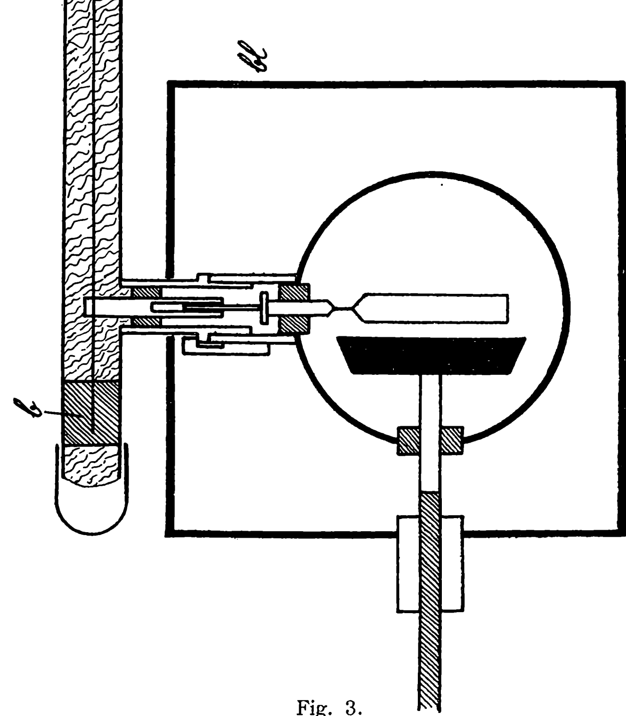


Fig. 3.

Schematischer Längsschnitt durch das Ionometer. *I* Ionisationskammer nach Krönig und Friedrich; *b* Bernstein; *p* Paraffin; *bl* Bleikästchen.

Elektroskopes (also horizontale und vertikale Zuleitung) mit Paraffin ausgegossen. Das Elektroskop selbst ist von einem 2 *mm* starken Bleikästchen umgeben, welches nur vorne und hinten zwei kleine mit Bleiglas verschlossene Fenster für die Beobachtung freiläßt. Zur Regulierung der Empfindlichkeit kann der Kohlenklotz von außen mittels einer Schraube verschoben werden. Eine an dem hinteren Fenster in einem Metallgehäuse angebrachte kleine Glühbirne mit Mattglasscheibe gibt für das Aluminiumblättchen einen so hellen Hintergrund ab, daß die Beobachtung selbst aus mehreren Metern Entfernung noch mit freiem Auge möglich ist. Ein Kabel mit Stecker, wodurch Beleuchtung und Aufladung (Kohlenklotz) gleichzeitig eingeschaltet werden können, und eine Erdungsklemme, an der sämtliche nicht stromführende Teile angeschlossen sind, vervollständigen das Instrument.

Wie begreiflich, hat das Instrument seine Vor- und Nachteile. Vorzüge sind:

1. Kann die Ionisationskammer bei konstanter Stellung der Röhre und ohne das Ionometer bewegen zu müssen beliebig oft und ohne Zeitverlust in das Bestrahlungsfeld gebracht und wieder herausgeschwenkt werden.

2. Wird der direkten Strahlung nur die Ionisationskammer ausgesetzt, ein Vorteil, der besonders beim Operieren mit harten Strahlen nicht zu unterschätzen ist.

3. Die Ablesung kann aus größerer Entfernung ohne Fernrohr oder Mikroskop und geschützt vor schädlicher Röntgenstrahlung durchgeführt werden.

4. Die Ablesung ist denkbar einfach. Man braucht nur eine bestimmte Anzahl »Schläge« mit der Sekundenuhr abzustoppen. Eine solche Messung dauert höchstens eine Minute.

5. Der Apparat ist sofort gebrauchsfertig. So weit ich beobachten konnte, ist seine Konstanz eine recht gute (innerhalb einiger Monate).

6. Die Empfindlichkeit kann innerhalb gewisser Grenzen durch Verschieben des Kohlenklotzes geändert werden.

Diesen Vorteilen stehen eine Reihe von Nachteilen gegenüber; von denen nur die drei wesentlichsten hervorgehoben werden sollen:

1. Die Empfindlichkeit ist wesentlich geringer als die eines Fadenelektrometers.

2. Die Mechanik der Blättchenbewegung ist verhältnismäßig grob, so daß die Meßgenauigkeit darunter leidet. Doch ließen sich diese Mängel unschwer beheben.

3. Das Blättchen bleibt manchmal am Kohlenklotz kleben, was besonders bei stark mit elektrischen Schwingungen durchsetzten Räumen häufig der Fall ist. Dies ist der unangenehmste Fehler des ganzen Instrumentes, dessen zuverlässige Behebung die größten Schwierigkeiten machen dürfte.

Nichtsdestoweniger hat sich der Apparat ganz gut bewährt. Das, was am unangenehmsten ins Gewicht gefallen wäre, Inkonstanz und Auftreten eines stärkeren Ruhestromes durch mangelhafte Isolation, trat erfreulicherweise nicht ein. Der bei den Vorversuchen ziemlich lästige Ruhestrom trat bei dem fertigen Instrument nur sehr schwach auf, oder besser gesagt, er ist so gering, daß etwa 25 Minuten vergehen müssen, bis das Blättchen einmal entladen wird. Da bei den Messungen 5 bis 10 Entladungen in der Minute beobachtet werden, spielt dieser Fehler für unsere Zwecke keine Rolle. Allerdings wurde beim Bau mit möglichster Sorgfalt und peinlichster Reinlichkeit vorgegangen.[1]

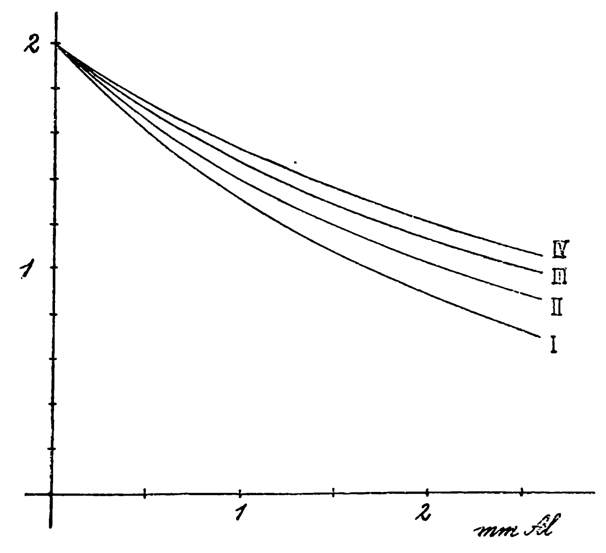


Fig. 4. Absorptionskurven der von mir verwandten vier (ungefilterten) Strahlungsgemische in Aluminium. Näheres s. Text. Abscisse: Dicke der *Al*-Schichte in *mm*; Ordinate: log *I* (*I* Intensität der auffallenden Strahlung, bei 0 *mm* *Al*-Schichtdicke gleich 100⁰/₀).

Da der Funkeninduktor der Röntgenapparatur keine große Energie hergab, konnten die zu verabreichenden Dosen nur in verhältnismäßig langen Bestrahlungszeiten gegeben werden. Aus demselben Grund war auch die Härte der Strahlen eine recht geringe. Es wurde daher immer ohne Filter bestrahlt.

Es wurde mit vier verschiedenen Strahlungsgemischen gearbeitet. Die Frequenz des Unterbrechers wurde in allen Fällen konstant auf 55 gehalten. Variiert wurden nur sekundäre Belastung und die parallele Funkenstrecke.

---

[1] Der Apparat wurde unter meiner Anleitung Mechaniker am hiesigen physikalischen Institute, Herrn F. Schippek, gebaut.

I. 7·5 *cm* parallele Funkenstrecke; 3 Milliampère.
II. 10 2
III. 15 1
IV 20 0·5

Am besten werden die Strahlungsgemische charakterisiert durch die wiedergegebenen Absorptionskurven (Fig. 4) und Tabelle 1.[1]

Tabelle 1.

Härte	Absorptionskoeffizient für Al	Halbwertschicht *mm* Al
I	9·09	0·76
II	8·34	0·83
III	6·88	1·01
IV	6·06	1·15

Die Behandlung des Samenmateriales ist bei den einzelnen Versuchen beschrieben. Im allgemeinen ging ich in der Weise vor, daß ich für jede zu bestrahlende Gruppe 50 Samen (oder Keimlinge) verwendete und mindestens 100 für die Kontrolle.

Die gemessenen Werte jeder Gruppe wurden dann zu Variationskurven verarbeitet und in bekannter Weise Mittelwert, mittlerer Fehler desselben und der Variationskoeffizient berechnet. Aus diesen Zahlen ließen sich die wahren oder scheinbaren Unterschiede der Gruppen untereinander auf ihren wahren Wert beurteilen.

IV. Versuche mit *Vicia faba*.

Schon wenige Versuche zeigten, daß nur mit viel Material zuverlässige Resultate erzielt werden könnten.

Versuch I, 1.

Sorgfältig ausgesuchte, möglichst gleich große Samen wurden in Leitungswasser eingeweicht, nach 24 Stunden in eine Keimschale mit Sägespänen gesetzt und im Dunklen gehalten. Nach zwei Tagen wurden gleichmäßig lange Wurzelexemplare (zirka 3 *cm*) ausgesucht und mit Härte I in vier Gruppen bestrahlt.

0·05 H (27 Sek.);
0·25 H (15 Sek.);
1 H (1 Min.);
5 H (5 Min.).

Mit den Kontrollen wurden sie in zwei große Keimschalen mit Sägespänen gesetzt und im Gewächshaus im Lichte gehalten. Das Resultat gibt Tabelle 2 in Prozenten der Kontrolle wieder. Der Stengel wurde vom Wurzelhals bis zum Vegetationspunkt, die Wurzel vom Wurzelhals bis zur Spitze gemessen.

Tabelle 2.

	Kontrolle	0·05 H	0·25 H	1 H	5 H
Stengel nach 11 Tagen	100	97	90	82	39
22	100	96	84	83	29
Wurzel 22 ..	100	126	56	47	14

[1] Der Absorptionskoeffizient (oder Abschwächungskoeffizient) μ ist ein Maß dafür, welcher Anteil der Strahlung durch eine bestimmte Dicke einer Substanz

Zuerst bemerkt man sofort den bedeutenden Unterschied in der Empfindlichkeit zwischen Sproß und Wurzel, der am deutlichsten bei den stärkeren Dosen zum Ausdruck kommt. Zweitens hat man den Eindruck, als wäre bei 0·05 H das Wurzelwachstum gefördert. 26% ist ein ganz bedeutender Unterschied. Vergleichen wir die dazugehörigen Zahlen, so erhalten wir folgendes:

Kontrolle, Länge der Wurzel in Zentimeter:

$$M = 28 \cdot 1 \pm 1 \cdot 6, \; \sigma = \pm 6 \cdot 5; \; V = \pm 23; \; n = 16.$$

0·05 H, Länge der Wurzel in Zentimeter:

$$M = 37 \cdot 2 \pm 2 \cdot 6; \; \sigma = \pm 8 \cdot 2; \; V = \pm 22; \; n = 10.$$

(Dabei bedeuten: M = Mittelwert, m = mittlerer Fehler des Mittelwertes, σ = Standardabweichung, V = Variationskoeffizient, n = Anzahl der Wurzeln.)

Aus der Größe von σ und V ersehen wir schon die große Variabilität der einzelnen Wurzellängen. Bestimmen wir die Differenz: M (Kontrolle) — M (0·05 H) aus der Formel

$$D = M_1 - M_2 \pm \sqrt{m^2 + m^2}$$ [1]

so erhalten wir

$$D = 9 \cdot 1 \pm 3 \cdot 1 \text{ (Verhältnis } 2 \cdot 93 \text{ 1).}$$

Die Differenz ist etwa dreimal so groß wie ihr mittlerer Fehler, man wäre also berechtigt, denselben noch als brauchbar zu bezeichnen. Da dieser Versuch mit sehr wenig Keimlingen ausgeführt wurde und die Variabilität sehr groß war, kann ich ihm keine Beweiskraft zusprechen.

Versuch 1, 3.

Samen möglichst gleicher Größe wurden zwei Tage angequollen, nochmals ausgesucht und in feuchte Sägespäne gesetzt. Am nächsten Tag Bestrahlung mit Härte I (Wurzellänge 0·5 bis 1·5 *mm*). Dosis zirka 0·2 H in einer Minute.

Tabelle 3.

	Stengel		Wurzel	
	Kontrolle	0·2 H	Kontrolle	0·2 H
4. Dezember 1925 ...	100	108·5	—	—
6. 1925	100	103·2	—	—
8. 1925 ...	100	102·4	100	95·3

Der zahlenmäßige Vergleich der Werte vom 4. Dezember 1925 gibt einen Unterschied vom 8·5%. Bilden wir die Differenz M (Kontrolle) — M (0·2 H), so erhalten wir:

$$D = 0 \cdot 15 \pm 0 \cdot 16.$$

Der mittlere Fehler ist hier sogar größer als die Differenz selbst, d. h. der anscheinend beträchtliche Unterschied von 8·5% ist als Versuchsresultat ganz

absorbiert wird. Mit Hilfe der Formel: $I = I_0 . e^{-\mu d}$ läßt sich die Habwertschicht berechnen, d. i. die Al-Schichtdicke, die eine Strahlungsintensität auf die Hälfte herabmindert. Es bedeuten: I_0 die ursprüngliche Intensität, I die durch eine Al-Schicht von d *cm* Dicke gefilterte Intensität, e die Basis der natürlichen Logarithmen.

[1] Siehe Johannsen, l. c., p. 103 ff.

ungenügend und am besten ganz zu verwerfen. Dies ist der Fall, obwohl die beiden Gruppen 42 und 46 Pflanzen aufwiesen.

Ein weiterer Gewächshausversuch unter denselben Bedingungen gab, erwartet, diese scheinbare Förderung nicht.

Versuch I, 4.

Es wurde mit besonderer Sorgfalt vorgegangen. Die Länge der benutzten Samen wurde gemessen, so daß sie in Längenklassen von 1 *mm* Intervall eingeteilt werden konnten. Es ergab sich eine schöne, nach beiden Seiten gleichmäßig abfallende Variationskurve. Nur aus den zwei Mittelklassen mit 10 bis 11 und 11 bis 12 *mm* Länge wurden die Samen zum Anquellen verwendet. Die drei Tage im Dunklen gequollenen Samen, deren Wurzel die Testa eben gesprengt hatte, wurden nochmals sorgfältig ausgesucht und in Portionen à 50 Stück bestrahlt.

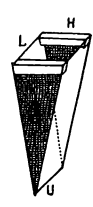


Fig. 5. Improvisierter Sachs'scher Wurzelkasten zur Kultur der *Sinapis*-Keimlinge. Näheres im Text.

Bestrahlung am 6. Mai 1926 mit Härte II, III und IV in folgenden Gruppen:

0·05, 0·1, 0·25, 0·5, 1·0, 2·0 H.

Die entsprechenden Zeiten dazu waren:

Härte II: 1 H in 104 Sekunden.
III: 1 H in 124
IV 1 H in 114

Die dabei auftretenden Intensitätsunterschiede konnten vernachlässigt werden, da Martius (I., 1924) gezeigt hat, daß erst Intensitätsunterschiede von 1 4 eine sichtbare Wirkung hervorbringen. Zu diesen bestrahlten 18 Gruppen kamen noch 200 Samen als Kontrollen dazu. Alle Gruppen wurden nun in ein möglichst gleichmäßiges Beet vor dem Institute in Reihen gesetzt, wobei absichtlich bestrahlte und unbestrahlte Keimlinge wahllos in Reihen durcheinander gesetzt wurden. Auf diese Weise war die sicherste Gewähr gegeben, daß alle Einflüsse der Umgebung, wie ungleichmäßige Bodenbeschaffenheit usw., ausgeglichen wurden.

Erfolg: 20. Mai 1926. Alle Gruppen, ohne Unterschied, kommen gleichmäßig aus dem Boden.

2. Juni 1926. Zwischen Kontrollen und bestrahlten Pflanzen ist in den Gruppen unter 1 H kein Unterschied festzustellen. Entfaltung des zweiten Blattes. Bei 1 und 2 H ist leichte (aber deutliche) pulverulente Panaschierung zu beobachten; beide Gruppen, besonders aber die 2-H-Gruppen, sind etwas kleiner als die Kontrollen.

Auch weiterhin ist kein Unterschied wahrzunehmen. Die 1- und 2-H-Gruppen holten die übrigen ein. Später setzten alle normale Blüte an.

Das Fazit aus diesen allerdings nur wenigen Versuchen ist also: Keine oder nur ganz undeutliche Förderung. Erholung schwach geschädigter Pflanzen.

V. Versuche mit *Sinapis alba.*

Mit Rücksicht auf diese Mißerfolge änderte ich sowohl das Versuchsmaterial als auch die Methode. Ich ging so vor, daß ich zwar mit möglichst viel Pflanzen arbeitete aber Stengel und Wurzel gleichzeitig beobachten konnte. Die Vorbereitung des Materials geschah folgendermaßen:

Die Samen wurden auf feuchtem Filterpapier im Dunklen bei Zimmertemperatur zum Keimen ausgelegt. Nach zirka drei Tagen (manchmal schon nach zwei, je nach der Temperatur) wurden mit der Pinzette möglichst gleich lange Keimlinge ausgewählt und in Schalen mit Filterpapier und Sandunterlage bestrahlt. Während der Bestrahlung wurden sie mit feuchtem Filterpapier zugedeckt, das bei längeren Bestrahlungen von Zeit zu Zeit angefeuchtet wurde. Dadurch wurde die Wärmestrahlung der Röhre abgehalten und die Keimlinge blieben vollkommen frisch. Die Kontrollen wurden genau so behandelt, aber nicht bestrahlt. Nachher wurden die Pflänzchen vorsichtig in improvisierte Sachs'sche Wurzelkästen gesetzt, die folgendermaßen gebaut waren (Fig. 5). Zwei rechteckige Glasscheiben wurden unter spitzem Winkel mit Hilfe zweier Holzstücke *H* zusammengelegt und die Seiten *S* mit Steiforgantin überzogen. Auch die Kante *U* war damit verklebt. Die Glasscheiben wurden innen mit feuchtem Filterpapier ausgelegt und an den Längsseiten *L* die Keimlinge zwischen Glas und Filterpapier eingesetzt. Auf einer Länge von zirka 30 *cm* konnten auf diese Weise 50 Pflänzchen untergebracht werden, also 100 Pflanzen pro Kasten. Der Innenraum des Kastens blieb frei; ein Versuch, denselben mit Sägespäne auszufüllen, erwies sich für die Wurzeln nicht günstig. Um den Wurzeln das Herunterwachsen an der Glaswand noch zu erleichtern, wurde in Abständen von 4 bis 5 *cm* Glasfäden eingelegt. Je nach den Umständen mußte drei- bis viermal täglich das Filterpapier angefeuchtet werden. Vor dem Lichte wurden die Wurzeln nicht geschützt; doch bekamen sie nie direktes Sonnenlicht. In dieser Weise wuchsen die Wurzeln ziemlich gerade nach abwärts und konnten leicht gemessen werden. Alle diese Versuche wurden im Gewächshaus gemacht.

Versuch VI, 1.

Bestrahlung am 1. Februar 1926 mit Härte I und folgenden Dosen: 10, 20, 40, 60 H. 10 H in 16 Minuten. Wurzellänge 10 bis 15 *mm*. Resultat Tabelle 4. Siehe auch Fig. 6.

Tabelle 4.

Messung am:	Kontrolle	10 H	20 H	40 H	60 H
Wurzellängen in Prozenten der Kontrollen					
3. Febru 1926 ..	100	89·6	83·6	79·8	68·5
4. 1926 ..	100	82·6	70·7	63·7	53·9
1926 ..	100	83·1	63·0	49·5	39·6
1926 ..	100	90·6	65·6	37·6	28·9
9. 1926 ..	100	93·2	67·7	37·7	26·8
Länge des Hypokotyls in Prozenten der Kontrollen					
5. Febru 1926 ..	100	99·6	85	101	101
9. 1926	100	103	97	115	114

Gemessen wurde die Wurzel vom Wurzelhals an, die Hypokotyllänge zwischen Wurzelhals und der Ansatzstelle der Kotyledonen. Bei dem in solcher Weise unter allen Kautelen aufgezogenen Material war die Variabilität eine wesentlich geringere. Ich gebe hier nur die notwendigsten Zahlen als Beleg wieder.

Wurzellänge, Kontrolle vom 3. Februar 1926:

$$M = 37 \cdot 9 \pm 0 \cdot 62\ (mm);$$
$$\sigma = \pm 4 \cdot 48;$$
$$V = \pm 11 \cdot 8;$$
$$n = 53.$$

Wurzellänge, 10 H vom 3. Februar 1926:

$$M = 34 \cdot 0 \pm 0 \cdot 59\ (mm);$$
$$\sigma = \pm 3 \cdot 99;$$
$$V = \pm 12 \cdot 0;$$
$$n = 39.$$

Die zahlenmäßige Untersuchung, ob der Unterschied zwischen diesen zwei Gruppen auf mehr als bloß auf Variabilitätsschwankungen zurückgeht, ergibt, daß

$$D = 3 \cdot 9 \pm 0 \cdot 27,$$

d. h. die Differenz ist mehr als 14mal so groß wie der mittlere Fehler derselben. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist also zweifellos real. Auf welche Ursachen er zurückgeht, darüber sagen die Zahlen allerdings nichts aus.

Schon viel schlechter liegen die Verhältnisse bei den Messungen vom 9. Februar 1926. Der bedeutend gestiegene Variationskoeffizient deutet dies bereits an.

Wurzellänge, Kontrolle vom 9. Februar 1926:

$$M = 149 \cdot 4 \pm 3 \cdot 24;$$
$$\sigma = \pm 22 \cdot 9;$$
$$V = \pm 15;$$
$$n = 50.$$

Wurzellänge, 10 H vom 9. Februar 1926:

$$M = 139 \cdot 3 \pm 2 \cdot 40;$$
$$\sigma = \pm 14 \cdot 6;$$
$$V = \pm 10 \cdot 5;$$
$$n = 37.$$
$$D = 10 \cdot 1 \pm 4 \cdot 03\ (2 \cdot 5 \quad 1).$$

Die Differenz ist 2·5mal so groß als ihr Fehler. Der Unterschied zwischen Kontrolle und 10-H-Gruppe am 9. Februar kann also gerade noch als realer Unterschied gewertet werden.

Bei den Hypokotylwerten fallen die Längen der 20-H-Gruppe stark aus der Reihe heraus. Die Ursache war nicht festzustellen, geht aber jedenfalls nicht auf die Bestrahlung zurück, da sie in späteren Versuchen nicht wieder auftrat. Die Hypokotylwerte vom 9. Februar 1926 weisen bei 40 und 60 H eine auffallende Förderung auf; auch die Bestimmung von

$$D = 3 \cdot 87 \pm 0 \cdot 97 \text{ (für 40 H)}$$

beweist unzweifelhaft deren reale Existenz.

Dies war der einzige Versuch, der eine so auffallende unzweifelhafte Förderung zeigte. Die später folgenden waren weniger ausgeprägt oder ganz negativ.

Versuch VI, 3.

Unter denselben Bedingungen wie der vorige, aber Wurzellänge der Keimlinge etwa 5 *mm*.

Temperaturmittel 16° C (Tabelle 5.)

Tabelle 5.

Wurzellängen in Prozenten der Kontrollen						
Messung am:	Kontrolle	5 H	10 H	20 H	40 H	
23. März 1926..	100	97·5	99·5	92·3	83·5	Wurzel
24. 1926..	100	101·0	98·8	90·7	79·9	
26. 1926..	100	119·7	113·1	110·9	97·1	Hypokotyl

Bei Hypokotyl (5 H) ist $D = 1 \cdot 98 \pm 0 \cdot 66$, d. h. der Unterschied von 19·7% kann als sichere Förderung aufgefaßt werden. Aus den übrigen *D*-Berechnungen folgt, daß die ziemlich hohen Förderungswerte bei 10 und 20 H nicht sehr sicher sind. Auffallend an diesem Versuch ist die Tatsache, daß obwohl die Bestrahlung dieselbe, die Empfindlichkeit der Wurzeln eine etwas andere war. Die 10-H-Wurzeln sind diesmal viel weniger geschädigt als in Versuch VI, 1. Ebenso ist die sogenannte Förderung wesentlich gegen die Kontrolle hin verschoben, während dies bei Versuch VI, 1 eigentlich umgekehrt war. Welche Umstände dafür verantwortlich zu machen sind, wissen wir nicht. Doch waren bei diesem Versuch drei Faktoren etwas geändert: Die Lichtverhältnisse (spätere Jahreszeit), durchschnittlich höhere Temperatur, die Wurzeln bei der Bestrahlung etwas kürzer.

Versuch VI, 4.

Bestrahlung am 9. April 1926 mit Härte II.

Jede bestrahlte Gruppe wurde geteilt. Eine Hälfte kam in der üblichen Adjustierung unter einem geräumigen Dunkelsturz. Die andere Hälfte wurde daneben in ein ziemlich gleich großes Glashäuschen gesetzt, um ähnliche Luft- und Feuchtigkeitsverhältnisse herzustellen.

Temperaturmittel 12° C. (Tabelle 6.)

Tabelle 6.

Messung am:	Kontrolle	10 H	20 H	40 H	60 H
Wurzellänge, hell					
12. April 1926....	100	84·1	77·5	69·9	59·8
13. 1926....	100	78·1	68·7	55·5	45·0
15. 1926....	100	78·0	62·8	36·7	28·5
17. 1926....	100	82·4	65·5	33·2	22·5
Wurzellänge, dunkel					
12. April 1926....	100	96·9	79·9	70·1	78·5
13. 1926....	100	90·4	72·4	53·3	58·5
15. 1926....	100	87·2	68·3	40·1	38·9
17. 1926....	100	87·4	68·7	35·4	33·7

(Zu Tabelle 6.)

Hypokotyllänge, hell					
Messung am:	Kontrolle	10 H	20 H	40 H	60 H
13. April 1926....	100	97·6	93·3	98·5	89·2
15. 1926....	100	109·8	106·6	110·9	99·5
18. 1926....	100	109	108	109	99·6
Hypokotyllänge, dunkel					
13. April 1926....	100	97·3	82·9	86	80·1
15. 1926....	100	96·7	89·4	93	86
18. 1926....	100	100	94·6	96·2	84·9

D (10 H, hell, 15. April 1926) = 2·22 ± 1·00 (2·22 1)
D (20 H, 15. » 1926) = 1·50 ± 0·80 (1·87 1)
D (40 H, 15. 1926) = 2·46 ± 0·69 (3·45 1)
D (10 H, 18. 1926) = 2·19 ± 0·89 (2·35 1)
D (20 H, 18. 1926) = 1·89 ± 0·79 (2·39 1)
D (40 H, 18. 1926) = 2·25 ± 0·63 (3·57 1)

(Alle *D* gehören zu den Hypokotylen).

Aus den ausgerechneten Differenzen und ihren mittleren Fehlern geht auch hier hervor, daß die Gruppen 10, 20 und 40 H, besonders aber letztere, im Licht eine unzweifelhafte Förderung aufweisen. Das gerade Gegenteil liegt bei dem Parallelversuch im Dunklen vor. Alle Hypokotyle aller Gruppen sind nicht nur nicht gefördet, sondern in manchen Gruppen deutlich zurückgeblieben. Die Wurzeln dagegen erfahren im Dunkeln anfangs eine Förderung gegenüber den im Licht gehaltenen, was begreiflich ist, da der Hemmungsreiz durch das Licht wegfällt. Die Tatsache, daß die Hypokotyle im Dunkeln zurückbleiben, findet seine ungezwungene Erklärung darin, daß der ganzen verdunkelten Pflanze eigentlich nur die Reservestoffe der Kotyledonen zur Verfügung stehen. Diese müssen für den Aufbau der ganzen Pflanze herhalten, ohne daß sie nebenher ersetzt würden, wie bei den Lichtpflanzen.

Da der p. 438 beschriebene Versuch VI, 1 die stärkste Förderung zeigte, sich aber von den übrigen Versuchen außer durch die Licht- und Temperaturverhältnisse dadurch unterschied, daß die regelmäßige Befeuchtung des Filterpapieres in den Sachs'schen Wurzelkästen mittels destillierten Wassers vorgenommen worden war, wurde ein weiterer Versuch angesetzt. Das von uns bezogene destillierte Wasser war sehr stark sauer, während das Wasserleitungswasser ziemlich konstant neutral oder etwas alkalisch ist.

Versuch VII, 2.

Sinapis-alba-Samen wurden auf mit Wasserleitungswasser getränktem Filterpapier in der gewöhnlichen Anordnung angekeimt, mit Härte II und einer Dosis von 40 H bestrahlt und mit den entsprechenden Kontrollen in Sachs'sche Wurzelkästen gesetzt. Das Begießen (Anfeuchten) der Filterpapiere geschah mit zweierlei Lösungen.

a) Mit gewöhnlichen Leitungswasser, welches ein *pH* von zirka 7 — 7·5 hatte.

b) Mit einer Mischung von 1000 Teilen Leitungswasser + 1 Teil 20%iger Essigsäure, welche ein *pH* von zirka 5 bis 6 hatte. Begossen wurde drei- bis viermal täglich. Das Resultat gibt Tabelle 7 wieder.

Tabelle 7.

Gemessen	Neutral		Sauer		
	Kontrolle	40 H	Kontrolle	40 H	
22. Juni 1926	100	49·9	106·2	57·6	Wurzel
24. 1926	100	36·1	100	39·0	
25. 1926	100	105·1	114·4	113·4	Hypokotyl

D (Hypokotyl, 40 H, neutral) = 1·0 ± 0·95 (1 1).
D (Hypokotyl, Kontrolle, sauer) = 2·84 ± 1·47 (2 1).

Nach diesem Versuche scheint die saure Reaktion eine begünstigende Wirkung auf das Wachstum sowohl der Wurzeln als auch der Hypokotyle zu haben. Ein Unterschied zwischen bestrahlten und unbestrahlten ist aber nicht vorhanden. Die mit Leitungswasser begossenen Keimlinge sind zwar im allgemeinen etwas zurück, doch die Hypokotyle der 40-H-Gruppe sind den unbestrahlten etwas voraus. Das *D* (40 H) ist zwar außerordentlich unbefriedigend. Doch wäre bei längerer Ausdehnung des Versuches der Unterschied vielleicht noch deutlicher geworden. Wegen Bruches eines Wurzelkastens mußte der Versuch vorzeitig abgebrochen werden. Erst weitere Versuche können darüber entscheiden.

VI. Allgemeines.

Die hier dargestellten Versuche zeigen, daß es in manchen Fällen zu einer ausgesprochenen Wachstumsförderung kommen kann. Bevor wir aber näher auf die Deutung derselben eingehen, möchte ich auf eine ganz interessante Tatsache hinweisen.

Iven hatte mit *Sinapis* Versuche angestellt, die ergaben, daß sich bei der Bestrahlung gequollener Samen erst von 10 HED an eine allmähliche Abnahme der Stengellänge zeigte. Die Pflanzen waren in die Erde gesetzt, und so konnte er allerdings nur die oberirdischen Teile beobachten. Man konnte auf Grund seiner Resultate annehmen, daß *Sinapis alba* eine sehr unempfindliche Pflanze ist. Auch Petry (II, 1922) hebt ihre große Strahlenresistenz hervor.

Es ist nun sehr überraschend, daß gerade die Wurzeln dieser Pflanze bei Intensitäten, die weit unter der von Iven angegebenen Dosis liegen, noch sehr deutlich mit einer Wachstumshemmung antworten. Den Beweis geben die Tabellen zu den Versuchen VI, 1, 3 und 4, sowie Fig. 6. Wir sehen schon bei der geringsten angewendeten Dosis von 10 H (zirka 2 HED) ein deutliches Zurückbleiben der Wurzeln (bis zu 10%) gegenüber den Kontrollen. Ein Zeichen also, daß ihre Empfindlichkeit eine bedeutende sein

muß. Diese Erscheinung ist deshalb so auffallend, weil an den oberirdischen Teilen, also am Hypokotyl, gleichzeitig nichts zu beobachten ist, was auf diese Hemmung hinweisen würde. Die Hypokotyle aller Gruppen unterscheiden sich durch nichts voneinander; sie sind entweder gleich hoch, oder in den bestrahlten Gruppen (mit Ausnahme der 60-H-Gruppe) sogar etwas gefördert. Die 60-H-Gruppe liegt nach Iven schon an der Schädigungsgrenze. Wir sehen auch in Versuch VI, 1 eine Förderung, in den anderen eine leichte Depression der 60-H-Gruppe.

Ancel (I, 1925) konnte vor kurzem an Keimlingen feststellen, daß die durch Bestrahlung zugefügte Schädigung (also die Unterschiede in der Entwicklung) immer deutlicher wird, je längere Zeit

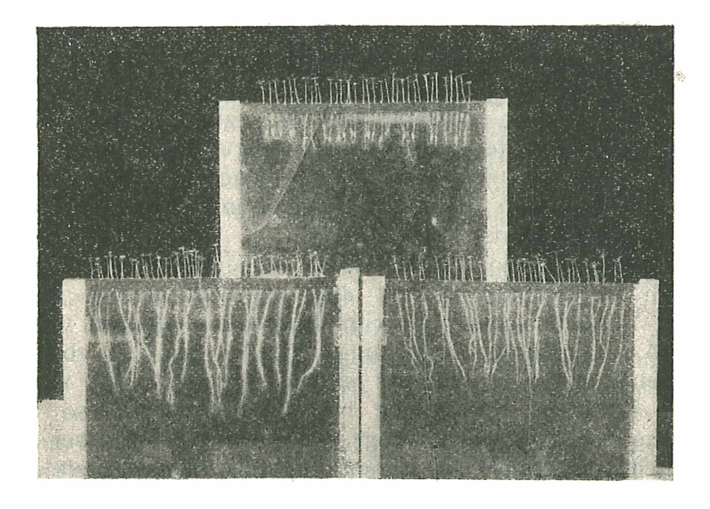


Fig. 6. *Sinapis alba*. Versuch VI, 1, am 9. Februar 1926. Links unten Kontrolle. Rechts unten mit 10 H, Mitte oben mit 40 H bestrahlt.

verstrichen ist. Die in unseren Tabellen verzeichneten Wachstumswerte bestätigen diese Versuchsresultate insoferne, als auch bei unseren Objekten in den ersten Tagen die Hemmung immer deutlicher wird. War aber die Schädigung nicht zu stark, so ist diese Verzögerung nur vorübergehend, d. h. es tritt eine Erholung ein, die um so früher einsetzt, je schwächer die Bestrahlung war. Dies konnte ich bei 10 und 20 H wiederholt, bei 40 H einmal beobachten.

Die bei den 60-H-Pflanzen beobachtete Depression der Hypokotyllänge ist noch kein Beweis, daß diese Wirkung eine direkte Strahlenwirkung darstellt. Wir wissen zwar aus den ebenfalls an Keimlingen durchgeführten Untersuchungen von Sierp und Robbers mit Röntgenstrahlen und denen von Blaauw mit Radium, daß auch die im Streckungswachstum befindlichen Organe auf Bestrahlung reagieren, ähnlich wie auf Lichtreize. Wir wissen

aber auch, daß diese Reaktion eine nur vorübergehende ist und auf alle möglichen Reize hin eintritt. Die Ursache kann also sowohl bei der beobachteten Hemmung als auch bei der Förderung nur eine sekundäre sein. Diese grundlegende Erkenntnis ist nicht neu. Sie hat sich erst in neuerer Zeit durchgerungen und wurde von Pordes, Linsbauer, Seide usw. in bestimmterer Weise ausgesprochen.

Gehen wir zum Hauptproblem über, so können wir aus den Versuchen schließen, daß in den meisten Fällen eine, wenn auch nur schwankende und schwache Förderung des Streckungswachstums des Hypokotyls zu beobachten ist. Doch nur bei *Sinapis alba* war dies in ausgesprochener Weise der Fall. Bei *Vicia faba,* dem klassischen Objekt zur Demonstration der Röntgen-Reizwirkung an Pflanzen, war dies trotz sorgfältigster Versuchsanordnung (siehe besonders Versuch I, 4 auf p. 437) niemals zu beobachten. Es stehen also meine Versuchsresultate zu denen Koernicke's und Iven's in einem gewissen Gegensatz.

Ich glaube aber, daß man die bis jetzt vorliegenden Resultate an Keimlingen leichter dem Verständnis näher bringen könnte, wenn man sich die Vorgänge beim Wachsen eines bestrahlten Keimlings vor Augen hält. Die Schädigung geht, wie allgemein bekannt, in den Meristemen vor sich, d. h. in der Wurzelspitze und im Sproßvegetationspunkt. Es ist sichergestellt, daß der Sproß wesentlich unempfindlicher ist als die Wurzelspitze. Es können also die Wurzeln schon von Strahlenmengen affiziert werden, die den Sproß gar nicht beeinträchtigen. Stellen wir uns vor, daß die Strahlenschädigung der Wurzel eine derartige ist, daß sie in ihrer normalen Funktion empfindlich beeinträchtigt wird, so muß die Versorgung des ganzen Keimlings mit Salzen und Wasser aus dem Boden gehemmt sein. Die Versorgung mit Salzen spielt dabei die weitaus untergeordnetere Rolle, da solche erfahrungsgemäß im Keimling für den ersten Bedarf genügend vorhanden sind. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei der Wasserversorgung. Das Wachstum des Hypokotyls (im Falle von *Sinapis)* beruht nicht auf Teilungswachstum, sondern hauptsächlich auf Streckungswachstum, d. h. die schon im Embryo präformierten Zellen dehnen sich stark unter Wasseraufnahme, so daß die einzelnen Zellen, ohne sich zu teilen, sehr stark und schnell (besonders in die Länge) wachsen. Die großen dazu benötigten Wassermengen werden naturgemäß durch die Wurzel aus dem Boden entnommen. Gleichzeitig werden die Nährstoffe, die in den Kotyledonen aufgespeichert sind, mobilisiert. Ist also die Schädigung der Wurzel so weitgehend, daß die Wasserzufuhr zu den oberirdischen Organen empfindlich gehemmt ist, so muß auch das von der Bestrahlung nicht (oder nur sehr wenig) tangierte Hypokotyl in Mitleidenschaft gezogen werden. Dies ist bei der 60-H-Gruppe der Fall. Bei den schwächer bestrahlten Pflanzen wird die Hemmung nicht so stark sein, daß die Wasserversorgung des Hypokotyls gedrosselt wird. Die 10-H-Gruppe, die kaum gelitten hat, wird sich daher von der Kontrolle nicht

oder kaum unterscheiden. Bei den anderen wird, so wie bei den 60-H-Pflanzen, die Korrelation Wurzel-Sproß gestört sein. Während aber bei 60 H die Beinträchtigung der Wurzel eine so weitgehende ist, daß der Sproß nur schlecht versorgt werden kann, ist bei den 20- und 40-H-Gruppen die Wurzel nicht so stark gehemmt. Die Wasserversorgung wird ungestört vor sich gehen können. Die aus den Kotyledonen strömenden Stoffe können nur zum geringsten Teil in der unnatürlich langsam wachsenden Wurzel verwertet werden. Es wird daher eine Störung, eine Überfütterung des Hypokotyls eintreten; es wird also auf Kosten der Wurzel wachsen, d. h. es wird gefördert.

Die Auswirkung einer solchen Korrelationsstörung wird naturgemäß sehr von den äußeren Umständen abhängen. Wir sehen in den angeführten Versuchen eine solche Förderung manchmal stärker auftreten, manchmal kaum oder gar nicht. Abgesehen von der Strahlendosis spielen meines Erachtens die Temperatur- und Lichtverhältnisse eine bedeutende, wenn nicht gar entscheidende Rolle. Als ich den Versuch VI, 1 durchführte, hatte ich es leider unterlassen, fortlaufende Aufzeichnungen über die herrschenden Temperaturverhältnisse zu machen. Später hatte ich immer ein Registrierthermometer neben den Versuchen stehen. Allerdings läßt sich aus den noch spärlichen Angaben nur so viel sagen, daß bei niederen Temperaturen das Ausmaß der Schädigung größer und die Ausgleichung derselben verzögert zu sein scheint. Auch die Lichtverhältnisse waren bei Versuch VI, 1 wesentlich ungünstigere (Februar), während die späteren Versuche in die Frühsommermonate fielen.

Man könnte sich aber recht gut vorstellen, daß bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, wie sie bei Versuch VI, 1 herrschten (ein sehr kühl gehaltenes Gewächshaus), die Ausgleichung der erlittenen Schäden verhältnismäßig langsam vor sich geht. Die Kälte verzögert das Wachstum der Wurzel noch mehr, so daß die Nährstoffe der Kotyledonen um so eher dem Sproß zugute kommen.

Ganz ähnliche Korrelationsstörungen müssen auch bei bestrahlten *Vicia-faba*-Keimlingen eintreten, bei denen ja die Kotyledonen in noch viel ausgesprochenerem Maße Reservestoffbehälter sind. Daß dies bei *Vicia faba* nur unter ganz bestimmten Verhältnissen einzutreten scheint, zeigt Versuch I, 4, bei dem alle nur denkbaren Kautelen angewendet wurden, um das Resultat nicht zu trüben. Dennoch trat keine Förderung ein. Die Versuche von Koernicke und Iven würden daher mit meinen negativen Ergebnissen noch nicht in Widerspruch zu stehen brauchen. Auch die Zunahme des Frischgewichtes an den oberirdischen Teilen geförderter *Vicia-faba*-Pflanzen (Iven) könnte sich daraus erklären lassen, daß in den Stengeln die Reservestoffe und Assimilate angehäuft würden. Anders dürfte die Sache allerdings aussehen, wenn man das Trockengewicht der ganzen Pflanze bestimmen könnte. Zwischen

Kontrollen und geförderten Pflanzen dürfte nur ein kleiner Unterschied vorhanden sein.[1]

Daß so geschädigte Wurzeln sich bald erholen, zeigen meine Versuche. Sie erklären in einfacher Weise die Tatsache, daß die Förderung bald verschwindet. Eine nachhaltige Wirkung kommt so nicht zustande, so daß die Pflanzen sich bei der Blüte und Samenreife nicht mehr voneinander unterscheiden, außer die Bestrahlung war so stark, daß der Schaden nicht mehr ganz ausgeglichen werden kann.

Über solche Korrelationsstörungen zwischen Wurzel und Sproß wissen wir äußerst wenig. Aus einer alten Arbeit von Kny (1894) geht aber hervor, daß bei Keimlingen, deren Wurzeln abgeschnitten wurden, eine anfängliche, also vorübergehende Förderung des Sprosses eintrat, die aber später ins Gegenteil umschlug. Die Stelle lautet: "In *Vicia faba*, the primary shoots of those plants whose roots were removed could be readily observed to have at first developed more vigorously then the primary shoots of those plants whose roots were not removed; whereas at the close of the experiment the contrary was the case, " (p. 279).

Daß Kny auf Grund der zahlreichen Versuche trotzdem zu dem Resultate kommt, daß das Wachstum des Sprosses und der Wurzel »mit einem großen Grad von Unabhängigkeit vor sich geht«, scheint mir darin zu liegen, daß in seinen Versuchen die Wurzel immer möglichst vollständig entfernt wurde, so daß die Versorgung des Keimlings mit Wasser, trotz Feuchthalten desselben, sehr stark unterbunden war.

Da wir aus anderen Untersuchungen wissen, daß ruhende Zellen (nicht in Teilung befindliche) wesentlich unempfindlicher sind, so können an geschädigten Wurzeln die Nebenwurzelanlagen noch zur Entwicklung kommen, wenn die Hauptwurzel das Wachstum definitiv eingestellt hat. Das zeigen z. B. die Versuche von Jüngling. Bei Wurzeln, die nicht bis zur Tötungsgrenze geschädigt sind, tritt dieser Ersatz leicht ein. Ich sah immer an meinen Versuchen, auch bei 60 H noch, vom Wurzelhals anfangend Nebenwurzeln sich entwickeln. Diese können sehr bald der Hauptwurzel die lebenswichtigen Funktionen abnehmen, ohne daß man am Sproß irgend etwas bemerkt. So bestrahlte ich *Vicia faba* mit zirka 4 bis 5 *cm* langen Wurzeln derartig, daß nur die Wurzel bis zum Wurzelhals den Strahlen ausgesetzt war, während der übrige Teil, also Kotyledonen samt Sproßanlagen, durch eine 3 *mm* starke Bleiplatte abgedeckt war. Die Sprosse der Kontrollen zeigten eine Woche nach der Bestrahlung eine mittlere Länge von 10·7 *cm*,

[1] In einer Arbeit von Ancel (II, 1925) findet sich die Bestätigung des von mir vermuteten Zusammenhanges zwischen Schädigung und Temperatureinfluß. Nach ihren Untersuchungen lassen Pflanzen bei niederen Temperaturen (10 bis 14°) innerhalb der gleichen Zeit eine stärkere Schädigung erkennen als Pflanzen, die bei optimalen Temperaturen kultiviert werden.

während die bestrahlten (zirka 10 H in 16 Minuten bei Härte I) eine Länge von 11 1 *cm* aufwiesen. Also oberirdisch kein Unterschied. Die vorsichtig ausgegrabenen Pflanzen zeigten dagegen an den Wurzeln folgende auffallende Unterschiede (Fig. 7). Die Kontrollen hatten Hauptwurzeln von im Mittel 13·7 *cm* Länge mit zahlreichen, bis unweit der Spitze reichenden Nebenwurzeln. Bei den bestrahlten Pflänzchen war die Hauptwurzel nur wenig weitergewachsen (im Mittel 6·8 *cm* lang) und teilweise in der typischen Weise gebräunt und verdickt. Sämtliche Nebenwurzeln fehlten an der Hauptwurzel innerhalb der bestrahlten Region. Am Wurzelhals dagegen und

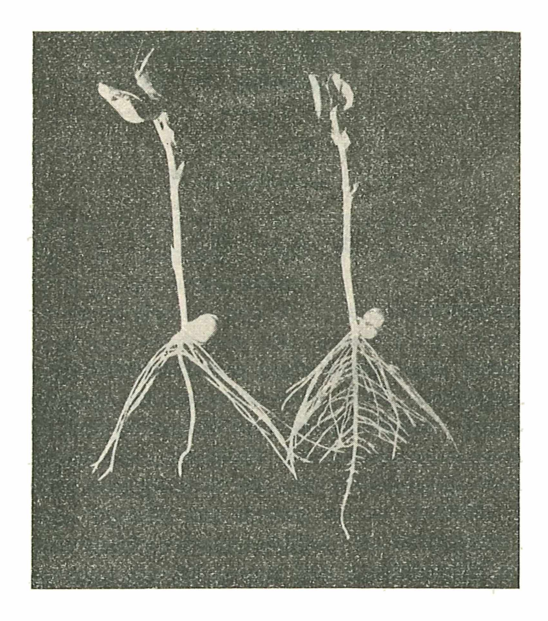


Fig. 7. *Vicia faba.* Rechts Kontrolle. Wurzel der linken Pflanze mit 10 H bestrahlt. Ersatz der Hauptwurzel durch kräftige Nebenwurzeln, die am nicht bestrahlten Wurzelhals entstanden sind.

knapp ober demselben waren zahlreiche lange und kräftige Nebenwurzeln aufgetreten, die die Versorgung der Pflanze übernommen hatten.

Auch diese Erscheinung geht auf eine Korrelationsstörung im System Hauptwurzel — Seitenwurzeln zurück. Denn schon Hering (1896) konnte zeigen, daß an eingegipsten Keimwurzeln die Ausbildung von Seitenwurzeln, zu deren Entwicklung sich vereinzelt oberhalb des Gipsgusses Gelegenheit geboten hatte, mit einer derartigen Beschleunigung stattfand, daß sie schließlich die Hauptwurzel an Länge überragten.

Mit Rücksicht darauf, daß schon Dosen von 10 H das Wachstum von *Sinapis*-Wurzeln deutlich beeinflussen, ohne aber ein

nachhaltiges Zeichen einer Schädigung zurückzulassen, wurden so bestrahlte Wurzeln auch fixiert und geschnitten. Dieses Material harrt noch der Bearbeitung. Auch Wurzeln von *Zea mays*, die nach Koernicke (1923) erst bei 250 *X* (also 125 H) Anzeichen von Schädigung gaben, wurden mit 18 H bestrahlt und nach 8 und nach 19 Stunden fixiert und geschnitten.[1] Von diesen kann schon ein vorläufiges Resultat gegeben werden. Aus den medianen Schnitten wurden die Kernteilungen (Aster bis vollendeter Diaster) gezählt. Es ergab sich daraus (Versuch III, 1):

Tabelle 8.

Zahl der Teilungen in einem Gesichtsfeld:		
nach	Kontrolle	18 H
8 Stunden	$10 \cdot 95 \pm 0 \cdot 22$ $n = 176$	$0 \cdot 92 \pm 0 \cdot 13$ $n = 75$
19 Stunden	$11 \cdot 45 \pm 0 \cdot 27$ $n = 115$	$1 \cdot 13 \pm 0 \cdot 12$ $n = 70$

Es erscheint also als Folge der Bestrahlung eine ziemlich lange, kernteilungsfreie Zeit eingeschaltet zu werden; diese muß äußerlich in einer, wenn auch vorübergehenden Depression des Wurzelwachstums zum Ausdruck kommen. Diese kann allerdings, wie ohne weiteres einzusehen ist, nicht sofort sichtbar werden. Sie macht sich erst fühlbar, wenn durch den Mangel an Kernteilungen eine geringere Anzahl von Zellen in die Längenwachstumszone gelangt. Ob die Bestrahlung auf das Längenwachstum der Wurzel einen direkten Einfluß ausübt, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Die vorliegenden Ausführungen lassen also den Schluß berechtigt erscheinen, daß im Falle der Bestrahlung von Keimlingen mit schwachen Röntgendosen eine Förderung im Sinne des Hüppe'schen Gesetzes nicht sicher erwiesen ist, daß aber alle Umstände für eine korrelative Störung zwischen Stamm (Sproß) und Wurzel sprechen.

Es soll dabei nicht in Abrede gestellt werden, daß diese korrelative Beeinflussung möglicherweise eine Beschleunigung der Kern- und Zellteilung in oberirdischen Organen (z. B. bei *Vicia faba*) hervorrufen kann. Daß dies der Fall ist, scheint mir sogar ziemlich sicher. Mit dem Hüppe'schen Gesetz hätte dies allerdings nichts zu tun.

[1] Das Fixieren und Schneiden der Wurzeln führte Herr S. Strugger durch, dem ich hiemit meinen besten Dank ausdrücken möchte.

Da auch die bisherigen Erfahrungen auf medizinisch-zoologischem Gebiet (siehe dazu Seide, I) keine einwandfreien Resultate geliefert haben, so müssen wir vorläufig die Existenz einer (echten) Röntgen-Reizwirkung ablehnen. Zur entgültigen Lösung dieser Frage müssen vorerst, meiner Ansicht nach, zwei grundlegende Bedingungen erfüllt werden. Erstens Vertiefung unserer Kenntnisse über die Wirkung der Strahlen auf einfache organische und anorganische Substanzen als Kontitutenten der Zelle; Vorarbeiten dazu liegen bis jetzt schon von Fernau, Mond, Pauli, Wels usw. vor. Zweitens Verwendung von Strahlen genau definierter Wellenlänge, da solche Strahlen nicht bloß immer wieder reproduziert werden können, sondern auch nach den neuesten Untersuchungen von Seide (II) und Dognon (1926) wesentlich verschieden auf die Organismen einzuwirken scheinen.

Zusammenfassung.

1. Zu röntgenologischen Untersuchungen an stark variablem Material, wie es z. B. Keimlinge sind, erweisen sich die statistischen Methoden als dringend notwendig.

2. Infolge der Nichtbeachtung dieser Notwendigkeit und anderer methodischer Mängel sind nur die allerletzten Arbeiten auf diesem Gebiet als brauchbar zu bezeichnen und auch deren Resultate nur mit Vorsicht aufzunehmen.

3. Gewächshaus- und Freilandversuche mit *Vicia faba* und *Sinapis alba* unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, ergaben nur in gewissen Fällen eine sichere Förderung der Sprosse durch relativ schwache Röntgenlichtdosen.

4. Die gleichzeitige Beobachtung des Wurzelsystems zeigte, daß eine Förderung bei den Wurzeln nicht zu beobachten war. Doch führten schon geringe Dosen (bei *Sinapis* 10 H) eine merkliche Depression der Wurzellänge herbei.

5. Diese Depression ist bei nicht allzustarken Dosen (10 bis 40 H) nur vorübergehend, d. h. die Wachstumsgeschwindigkeit der Wurzel kann in einiger Zeit ihren früheren Wert wieder erreichen. Die Zeit, die zu dieser »Erholung« notwendig ist, steht in umgekehrtem Verhältnis zur Bestrahlungsdosis.

6. An sehr resistenten Pflanzen *(Zea mays)* können schon schwache Dosen (18 H) einen fast vollständigen, aber vorübergehenden Stillstand der Kernteilungen in der Wurzel herbeiführen, was mit den Ergebnissen in Punkt 4 und 5 in guter Übereinstimmung steht.

7. Es wird die Ansicht vertreten, daß diese vorübergehende Schädigung der Wurzel eine Korrelationsstörung zwischen Wurzel und Sproß herbeiführt. Bei einem gewissen Ausmaß der Schädigung kann die Hauptfunktion der Wurzel (die Wasser- und Salzversorgung) ungestört vor sich gehen, während das Wachstum

(meristisches und Streckungswachstum) so stark gehemmt ist, daß die normalerweise in die Wurzel abgeleiteten Nährstoffe gestaut werden. Letztere kommen so dem Sproß zugute und täuschen eine Förderung der ganzen Pflanze vor. Es würde sich daraus in ungezwungener Weise die Tatsache erklären, daß die Förderungen nur bei gewissen Bestrahlungsdosen auftreten. Es muß daher bis auf weiteres die Existenz einer (echten) Röntgen-Reizwirkung bei Keimlingen abgelehnt werden.

Literatur.

Ancel S., I, Sur les variations dans la manifestation des lésions produites par les rayons X dans les graines en fonction du temps écoulé depuis l'irradiation. Comptes Rend. Soc. Biol. Paris, Bd. 93, 1925, p. 1669.

— II, Sur les variations dans la manifestation de la lésion produite par les rayons X dans les graines, en fonction de la température à laquelle elles se développent après l'irradiation. Comptes Rend. Soc. Biol., Paris, Bd. 93, 1925, p. 1671.

Blaauw A. H. und van Heyningen W., The Radium-growth-response of cell. Proc. kgl. Ak. van Wetensch. Amsterdam, Bd. 28, 1925.

Czepa A., Das Problem der wachstumsfördernden und funktionssteigernden Röntgen- und Radiumwirkung. Ein kritisches Sammelreferat, Strahlentherapie, Bd. 16, 1924, p. 913.

Dognon A., La mesure de l'action biologique des rayons X de différentes longueurs d'onde. Journ. d'electrologie et de radiol., Bd. 10, 1926, p. 145 und 210.

Hering F., Über Wachstumskorrelationen in Folge mechanischer Hemmung des Wachsens. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 29, 1896, p. 132.

Hess V. F., Über das Zeleny'sche Oscillationselektroskop und seine Anwendung im physikalischen Unterricht. Zeitschr. f. physikal. und chem. Unterricht, Bd. 37, 1924, p. 240.

Holzknecht G., Gibt es eine Reizwirkung der Röntgenstrahlen? Münchner med. Wochenschr., 1923, p. 761.

Iven H., Neue Untersuchungen über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Pflanze. Strahlentherapie, Bd. 19, 1925, p. 413.

Jüngling O., Röntgenbehandlung chirurgischer Krankheiten. Verlag S. Hirzel, Leipzig, 1924.

Kny L., On Correlation in the Growth of Roots and Shoots. Ann. of Bot., Bd. 8, 1894, p. 265.

Koernicke M., Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Pflanzen. Handbuch der gesamten medizinischen Anwendung der Elektrizität. Bd. III, 2. Teil, Lieferung 3, 1922, p. 157.

Krönig B. und Friedrich W., Physikalische und biologische Grundlagen der Strahlentherapie. Verlag Urban & Schwarzenberg, Berlin-Wien, 1918.

Linsbauer K., Röntgenologische Untersuchungen an Moosen und Farnen. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen, Bd. 34, 1926, p. 1.

Martius H., I, Bohnenversuche an Röntgenstrahlen. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen, Bd. 32, 1924, p. 361.

— II, Das Hauterythem als Strahlenmaß. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen, Bd. 32, 2. Kongreßheft, 1924, p. 21.

Petry E., I, Zur Kenntnis der Bedingungen der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen. III. Bioch. Zeitschrift, Bd. 135, 1923, p. 353.

— II, Zur Kentnis der Bedingungen der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen, II. Bioch. Zeitschrift. Bd. 128, 1922, p. 326.

Schmidt H. E., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung kleinerer und größerer Röntgenstrahlenmengen auf junge Zellen. Berliner klinische Wochenschrift, 1910.

Schwarz G., Czepa und Schindler, Zum Problem der wachstumsfördernden Reizwirkung der Röntgenstrahlen bei höheren Pflanzen. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen, Bd. 31, 1924, p. 665.

Seide J., I, Biologische Untersuchungen zur Frage der Strahlenreizwirkung. Deutsche medizinische Wochenschrift, 1925.

— II, Experimenteller Beitrag zum Problem der elektiven Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. Deutsche medizinische Wochenschrift, 1925.

Sierp H. und Robbers F., Über die Wirkungen der Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Pflanzen. Strahlentherapie, Bd. 14, 1922.

Nachtrag bei der Korrektur.

In einer mir eben zur Kenntnis gekommenen Arbeit (De l'influence accélératrice des rayons X sur le dévelopement des plantes, Arch. de Physique biologique, Bd. 5, 1926, p. 106) kommt S. Ancel zu ähnlichen Ergebnissen wie Schwarz, Czepa und Schindler. Ich vermisse aber hier ebenfalls die variationsstatistische Auswertung des Materials, so daß ein zuverlässiger Vergleich der Mittelwerte der bestrahlten und unbestrahlten Pflanzen nicht möglich ist.

Im übrigen dürfte ihm auf p. 110 bei der Aufzählung der Mittelwerte der bestrahlten Bohnen ein Irrtum unterlaufen sein. Die dort angeführten Mittelwerte (Messung am siebenten Tag) sollten wohl in umgekehrter Reihenfolge aufgezählt werden. Denn es ist unwahrscheinlich, daß bei 1/12 H die Pflanzen stärker geschädigt werden (Länge 29 7) als bei 20 H (Länge 40). Diese Umkehrung der Reihenfolge der Zahlenwerte dürfte auch bei der zweiten Reihe (Messung nach 14 Tagen) geboten sein.
